

## ПСЕВДОЛИНЕЙНАЯ КОРРЕКЦИЯ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Захаренко И.Е., Сипкова Н.С., Скороспешкин В.Н.

Научный руководитель: Скороспешкин В.Н., к.т.н., доцент  
Томский политехнический университет, Институт кибернетики  
Zie140494@gmail.com

Применение классических ПИД-регуляторов не всегда способно дать хорошее качество регулирования в силу ряда недостатков, которыми обладают регуляторы. Основные недостатки – наличие фазового запаздывания и высокая чувствительность к различного рода помехам в измерительном канале.

Существуют различные способы для устранения данных недостатков, одни из них: ввод в систему регулирования корректирующих линейных и нелинейных звеньев, коррекция свойств регулятора [1,2].

В данной работе приведены результаты исследования системы автоматического регулирования с использованием объекта второго порядка и модифицированного псевдолинейного ПИД-регулятора.

Применяемый регулятор включает в себя следующие звенья: псевдолинейное звено с амплитудным подавлением, пропорциональное звено, интегрирующее звено, дифференцирующее звено, псевдолинейное фазопережающее звено. Структурная схема псевдолинейного ПИД-регулятора приведена на рисунке 1.

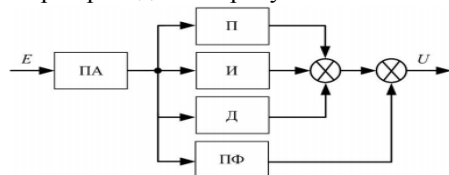


Рисунок 1 - Структурная схема модифицированного псевдолинейного ПИД-регулятора

На рисунке: ПА – псевдолинейное звено с амплитудным запаздыванием; П – пропорциональное звено; И – интегрирующее звено; Д – дифференцирующее звено; ПФ – псевдолинейное звено с фазовым опережением.

На рисунке 2 представлена схема псевдолинейного звена с амплитудным подавлением.

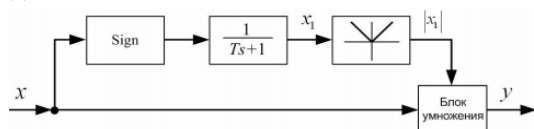


Рисунок 2 - Структурная схема псевдолинейного звена с амплитудным подавлением

Данное звено включает в себя оператор Sign, низкочастотный фильтр, блок определения модуля, перемножающее устройство.

АФЧХ звена имеет вид:

$$W(j\omega) = a + jb;$$

$$a = \frac{8}{\pi^2 \times \sqrt{1 + T^2 \omega^2}} \times \left(1 + \frac{1}{3}\right) \times \cos(2\vartheta);$$

$$b = \frac{8}{\pi^2 \times \sqrt{1 + T^2 \omega^2}} \times \left(\frac{1}{3}\right) \times \sin(2\vartheta).$$

Анализируя полученную АФЧХ можно сделать вывод, что при изменении АЧХ данного звена изменяет свои значения от 1 до 0. Изменение ВЧХ при различных параметрах происходит не более чем на  $-20^\circ$ . При возникновении в системе колебаний выходной величины наблюдается автоматическое уменьшение коэффициента передачи звена.

На рисунке 3 представлена структурная схема псевдолинейного звена с фазовым опережением, состоящего из блока определения модуля, фазопережающего блока, оператора Sign, перемножающего устройства.

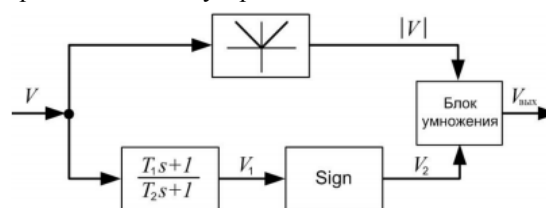


Рисунок 3 - Структурная схема псевдолинейного звена с фазовым опережением

Коэффициенты гармонической линеаризации данного звена имеют вид:

$$a = \frac{1}{\pi} (\pi - 2\alpha + \sin 2\alpha);$$

$$b = \frac{1}{\pi} (1 - \cos 2\alpha),$$

$$\text{где } \alpha = \arctg \frac{\omega T_1(1-v)}{1 + \omega^2 T_1^2 v}; v = \frac{T_2}{T_1}.$$

Анализ частотных характеристик звена показывает, что при изменении частоты и варьировании постоянных времени звена  $T_2$  от 1 до 0,01 с,  $T_1$  от 1 до 10 с, ФЧХ претерпевает изменения в пределах от 0 до  $78^\circ$ , а логарифмическая АЧХ изменяется в пределах от 0 до  $-4$  дБ. [5] Такое изменение АЧХ не оказывает существенного влияния на запас устойчивости системы автоматического регулирования (САР). Данное псевдолинейное звено с фазовым опережением осуществляет фазовый сдвиг, величина которого зависит от значений постоянных времени  $T_1$  и  $T_2$ . Данное звено применяется для коррекции сигнала путем внесения в САР положительного фазового сдвига и тем самым улучшает качество регулирования.

Для исследования работы модифицированного псевдолинейного ПИД-регулятора была составлена модель САР в среде Matlab 7.12.

В системе используются ОУ второго порядка, имеющие передаточную функцию вида:

$$W_o(s) = \frac{K_o}{T_{o2}^2 s^2 + T_{o1} s + 1}.$$

Параметры ОУ имеют следующие значения:  $K_o=1$ ;  $T_{o2}=3.87298$  с;  $T_{o1}=8$  с.

Для данного объекта управления методом Циглера-Никольса были рассчитаны параметры классического ПИД-регулятора для обеспечения апериодического переходного процесса. Коэффициенты регулятора имеют следующие значения:  $K_{\Pi}=1.0753$ ;  $K_{\text{И}}=0.1331$ ;  $K_{\text{Д}}=0.7462$ .

Для исследования свойств системы регулирования была проведена настройка модифицированного псевдолинейного ПИД-регулятора: значения пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющих были приняты равными значениям классического ПИД-регулятора. Постоянная времени фильтра псевдолинейного звена с амплитудным подавлением  $T=10$  с. Параметры настройки фазопередающего звена были приняты равными:  $T_1=10$  с,  $T_2=1$  с.

На рисунке 4 приведены кривые переходных процессов для двух систем с параметрами ОУ и настройками регуляторов, описанными выше.

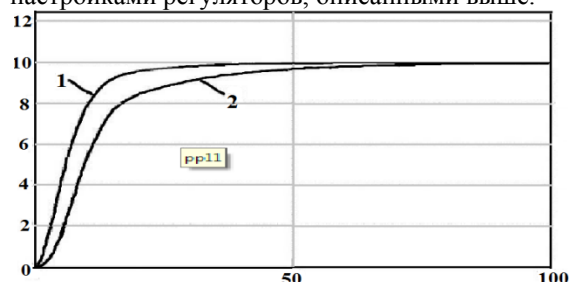


Рисунок 4 - Кривые переходного процесса

Кривая 1 соответствует системе с классическим ПИД-регулятором, а кривая 2 – системе с модифицированным псевдолинейным ПИД-регулятором.

Как видно из рисунка характер переходных процессов является апериодическим. В системе с модифицированным псевдолинейным ПИД-регулятором время регулирования немного большее, чем в системе с классическим ПИД-регулятором.

На рисунке 5 приведены кривые переходных процессов для этих же САР, с изменившимися параметрами ОУ. Значения изменившихся параметров ОУ являются следующими:  $K_o=1$ ;  $T_{o2}=7.0710$  с;  $T_{o1}=8$  с. При этом параметры классического ПИД-регулятора и модифицированного псевдолинейного ПИД-регулятора остались неизменными.

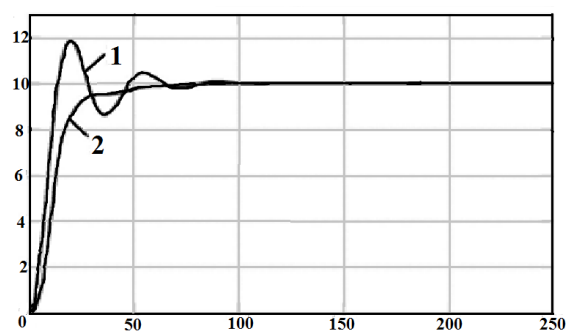


Рисунок 5 - Кривые переходных процессов

Кривая 1 соответствует системе с классическим ПИД-регулятором, а кривая 2 – системе с модифицированным псевдолинейным ПИД-регулятором.

Как видно из рисунка качество регулирования САР с классическим ПИД-регулятором при изменившихся параметрах ОУ является намного худшим, чем качество САР с модифицированным псевдолинейным ПИД-регулятором.

Проведенные исследования систем регулирования с предложенным регулятором показывают, что модифицированный псевдолинейный ПИД-регулятор эффективно работает в условиях, когда параметры объекта управления меняются в широком диапазоне. И в этой связи такой регулятор можно рассматривать как робастный.

В данной работе рассмотрено псевдолинейное фазопередающее звено, фазовая характеристика которого претерпевает изменения в пределах от 0 до 78°. При необходимости подъема ФЧХ на большую величину можно использовать псевдолинейное корректирующее устройство с фазовым опережением [2]. Данное звено обеспечивает подъем фазо-частотной характеристики до 175°.

#### Список использованных источников:

1. Скороспешкин М.В., Скороспешкин В.Н. Псевдолинейное корректирующее устройство с фазовым опережением // Патент на полезную модель №104332 (RU 104332 U1) По заявке №2010149922/08 от 03.12.2010. Опубликовано: 10.05.2011 RU БИПМ №13.
2. Хлыпало, Е.И. Нелинейные корректирующие устройства в автоматических системах / Е. И. Хлыпало. – Л.: Энергия, 1973. – 344